

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



Bakalářská práce

Manipulátor pro přepravu vozidel

Jiří Povolný

2019

Studijní program: Softwarové inženýrství a technologie

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Krajník, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Povolný** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **465894**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačů**
Studijní program: **Softwarové inženýrství a technologie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Manipulátor pro přepravu vozidel

Název bakalářské práce anglicky:

Manipulator for transport of vehicles

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je realizace modelu manipulátoru pro přepravu vozidel a jeho integrace do řídicího systému autonomního vozidla, které bude přepravovat osobní automobily.

- 1) Seznamte se s ovládáním robota ECA CAMELEON a s modelem přepravovaného vozidla.
- 2) Navrhněte elektromechanické řešení manipulátoru a jeho řídicí systém.
- 3) Proveďte základní testy navrženého systému.
- 4) Na základě předchozích testů systém upravte.
- 5) Realizujte mechanickou konstrukci.
- 6) Realizujte elektrickou část a systém otestujte.
- 7) Realizujte řídicí komponenty.
- 8) Seznamte se se systémem ROS.
- 9) Pro navržený manipulátor vytvořte ROS driver.
- 10) Navrhněte sérii experimentů umožňujících zjistit spolehlivost navrženého systému.
- 11) Proveďte experimentální ověření systému.
- 12) Shrňte výsledky experimentů.

Seznam doporučené literatury:

[1] T.Krajník, F.Majer, L.Halodova, T.Vintr: Navigation without localisation: reliable teach and repeat based on the convergence theorem. 2018 IROS.
[2] Tutoriály systému ROS, <http://ros.org>.
[3] Mudrova et al: An Omnidirectional Mobile Robot for Large Object Handling. In International Conference on Research and Education in Robotics. 2011.
[4] Krajník et al.: A Mobile Robot for EUROBOT Mars Challenge. In International Conference on Research and Education in Robotics. 2008.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Krajník, Ph.D., centrum umělé inteligence FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.09.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.01.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Tomáš Krajník, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

Poděkování

Chtěl bych poděkovat rodině za nepřetržité podporování při studiu. Také děkuji mému vedoucímu Ing. Tomášovi Krajníkovi, Ph.D., za spolupráci a především možnost podílet se na velmi zajímavém projektu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 14. listopadu 2019

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou možností a návrhem výroby manipulátoru pro přepravu modelu auta v podobě dětského elektrického autíčka. Dále byla provedena realizace vhodných komponent pro tvorbu manipulátoru a také bylo zhotoveno porovnání různých řešení a nástrojů pro realizaci daného manipulátoru.

Abstract

The bachelor thesis deals with the analysis of possibilities and design of a manipulator for transporting a car model in the form of a children's electric car. It was carried out the implementation of suitable components for manipulator and also a comparison of different solutions and tools for realization of the manipulator was made.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Stanley Robotics	1
1.2	Moje verze manipulátoru	2
2	První verze manipulátoru	4
2.1	Návrh	4
2.2	Implementace	4
2.3	Testování	6
2.4	Shrnutí	7
3	Druhá verze manipulátoru	8
3.1	Úchyt pro pneumatiky	8
3.1.1	Servo motory	8
3.1.2	Montáž úchytu	12
3.2	Zámek pro úchyt	15
3.2.1	Návrh	15
3.2.2	Výroba	16
3.3	Zvedací konstrukce	17
3.3.1	Návrh	18
3.3.2	Vyskytnuté problémy	18
3.4	Pohon pro zvednutí modelu auta	18
3.4.1	Hydraulické písty	18
3.4.2	Lineární aktuátory	19
3.5	Napájení	21
3.5.1	Druhy akumulátorů	21
3.5.2	Finální Výběr	22
4	Řídící elektronika	23
4.1	Výběr řídicí elektroniky	23
4.1.1	Raspberry	23
4.1.2	Arduino	23
4.1.3	BeagleBone	24
4.1.4	Finální výběr	25
4.2	Komunikace mezi Raspberry a Arduinem	26
4.3	ROS - Robot Operating System	28

5	Testování	30
5.1	Testování úchytu pro pneumatiky	30
5.2	Testování zámku pro úchyt	30
5.3	Testování zvedací konstrukce	31
5.4	Testování lineárního aktuátoru	31
6	Možnosti dalšího vývoje	32
7	Závěr	33

Seznam obrázků

1	Stanley Robotics - Kabina	2
2	Stanley Robotics - Manipulátor	2
3	Model auta	3
4	Mechanický úchyt	4
5	Mechanický úchyt přiblížený	4
6	První verze - návrh	5
7	První verze - překližka	5
8	První verze - výroba komponent	5
9	První verze - jištění	5
10	První verze - zasunutá tyč	6
11	První verze - vysunutá tyč	6
12	První verze - zasunuté tyče	6
13	První verze - vysunuté tyče	6
14	Hotový úchyt pro pneumatiky	8
15	Hotový úchyt přiblížený	8
16	Vnitřek Serva	12
17	Feedback	12
18	Finální úprava	12
19	Dokumentace úchytu	13
20	První návrh úchytu	13
21	Druhá realizace úchytu	14
22	Druhá realizace úchytu	14
23	Vteřinové lepidlo	15
24	Gelové lepidlo	15
25	Epoxid	15
26	Prvotní myšlenka zámku	17
27	Finální návrh zámku	17
28	Návrh finálního zámku 1	17
29	Návrh finálního zámku 2	17
30	Raspberry 3 B+	25
31	Raspberry 3 B+ zezadu	25
32	Arduino Uno R3	25
33	Kalibrace serva	25
34	SPI Diagram	27
35	I2C Diagram	27
36	Testování komunikace přes ROS	29
37	Testování lineárního aktuátoru	31

Seznam tabulek

1	Rozdělení serv podle velikosti a hmotnosti	11
2	Porovnání Arduino mikrokontrolérů	24
3	Porovnání BeagleBone počítačů	24
4	Rozdíl mezi SPI a I2C	27

1 Úvod

Automobilové koncerny prodají po celém světě desítky milionů aut každý rok. Tudíž se zde objevuje jedna otázka. Kam všechny tyto auta zaparkujeme? Především velká města začali bojovat s tímto problémem. Stala se z toho rutina, že když jedeme do práce, čekáme v koloně aut někdy i celé hodiny. To samé se stává, i když jedeme nazpět. Jednoduše jsme přeplněni auty, které zabírají obrovské množství místa.

Na světě ovšem existují firmy, které se zaměřují na řešení tohoto problému a tím jsou parkovací systémy. A jelikož v dnešní době je moderní, především v oblasti robotiky, aby všechna zařízení vykonávala svoji činnost co nejvíce autonomně, tak jednou z takovýchto oblastí výzkumu jsou nejen parkovací systémy, ale i manipulátory, které jsou součástí těchto systémů a pomocí kterých můžeme osobní automobily přepravovat bez řidiče. Jedna z takovýchto firem se jmenuje Stanley Robotics.

1.1 Stanley Robotics

Stanley Robotics je velmi mladá firma pocházející z Francie, která se zabývá výrobou autonomních manipulátorů přepravujících osobní automobily normální velikosti. Tato firma se před pár lety proslavila především díky parkovací službě jménem Stan, která se začala využívat na francouzských letištích v Paříži a Lyonu nebo také v Londýně. Tento inteligentní parkovací systém navádí jednotlivé manipulátory, které dokážou přemístit zaparkovaná osobní auta.

Jak to funguje Svoje auto zaparkujete do volné kabiny před parkoviště. Vezmete si své věci, auto zamknete a pomocí mobilního telefonu si ověříte svoji rezervaci letenky na terminálu, který se nachází hned vedle kabiny. Jakmile je validace úspěšná, kabina se zamkne a čeká na příjezd manipulátoru. Poté co přijede, kabina se z druhé strany otevře. Manipulátor následně podjede váš vůz a poté ho uchytí za pneumatiky. Následně ho zvedne a zaparkuje na místo, které mu určí celkový parkovací systém. Systém je propojen s informacemi vašeho letu, tudíž ihned po přiletu zpět manipulátor zaveze vaše auto do kabiny a vy si ho můžete bez čekání vyzvednout.

Přínosy parkovacího systému Na jednom takovémto parkovišti lze pomocí parkovacího systému ušetřit až 50 % místa. Je to především kvůli tomu, že než se auto zaparkuje, řidič a spolujezdci opustí vozidlo, a tudíž se auta mohou parkovat mnohem blíže k sobě, jelikož zde není potřeba otevírat dveře od auta. Dále na takovémto parkovišti nejsou potřeba žádné rampy nebo jízdní pruhy. A jelikož zde nemá přístup veřejnost, není zde potřeba budovat žádný výtah nebo schodiště a nejsou zde takové požadavky na světlo a ventilaci. Tudíž na výstavbu parkovacího areálu je spotřebováno mnohem méně času a peněz, než při stavbě

multipanelového parkoviště. Také je zde zaručena větší bezpečnost a nehrozí, že by vám někdo při nešikovném parkování auto poškrábl nebo dokonce ukradl. Takovýto systém už dopředu přesně ví, kam má auta zaparkovat. Není tedy nutné hledat zbytečně dlouho volné místo, tudíž se nespotřebuje tolik benzínu a z motoru nevychází takové množství emisí. Jelikož jsou manipulátory plně autonomní, a tudíž nepotřebují žádného řidiče, lze ušetřit i mnoho času, který by případný řidič musel strávit parkováním a cestou zpět přes celý areál. A právě to jsou hlavní důvody proč se firmy čím dál více zajímají o autonomní přepravu vozidel - ušetřené místo a čas.

Nevýhody parkovacího systému Když je systém vybudován na místě, kde je přibližně rovnoměrný příchod a odchod lidí, například v obchodních center nebo letištích, je vše v pořádku. Nevýhoda takového systému by nastala třeba na velkém stadionu, kde nejprve velké množství lidí najednou přichází a po zápase nebo nějakém představení opět velké množství lidí najednou odchází. Další nevýhoda těchto systémů bude to, že chvíli potrvá, než si lidi na tento styl parkování zvyknou, a proto může být u lidí zprvu neoblíbený.



Obrázek 1: Stanley Robotics - Kabina



Obrázek 2: Stanley Robotics - Manipulátor

1.2 Moje verze manipulátoru

Tato práce se zabývá návrhem a vývojem manipulátorů, které nemají přepravovat osobní automobily normální velikosti, ale jejich model - dětské elektrické autíčko, které má metr na délku a váží přibližně 13 kilo. Byl kladen důraz na specifický úchyt modelu a to za pneumatiky, jelikož je to šetrnější řešení než uchycovat model třeba za podvozek, což by mohlo být z některých důvodů problémové. Například kvůli opotřebování podvozku. Manipulátor by měl

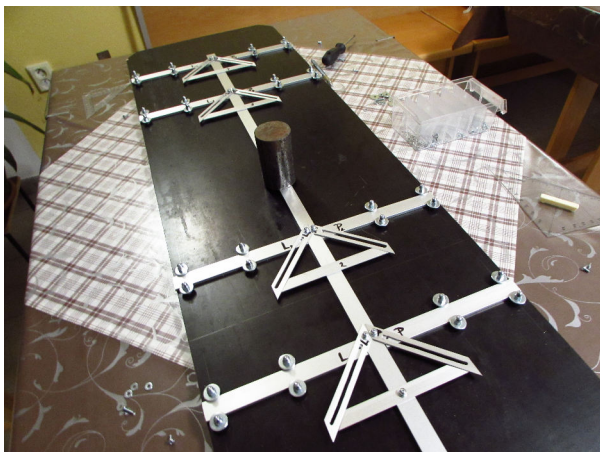
také počítat s tím, že přepravovaná auta mohou být zabrzděna, tudíž je nepůjde normálně odtáhnout a budou muset být zvednuta za pneumatiky.

Nadjezd nebo podjezd automobilu U těchto manipulátorů existují 2 základní typy příjezdu k modelu auta. Buď manipulátor model auta podjede a nebo ho nadjede. Firma Stanley Robotics podjíždí automobil. Manipulátor tohoto typu nespotřebuje tolik místa okolo auta. Ovšem jeho příjezd pod automobil musí být mnohem přesnější, jelikož při podjetí musí jet stále rovně a v pravou chvíli se zastavit tak, aby byl dostatečně hluboko, ale zároveň do auta nenarazil. Ovšem když budeme auto nadjíždět, zabere sice manipulátor mnohem více místa, ale může nad model auta přijet i trochu nakřivo. Další výhodou je, že zde máme více prostoru na připevnění komponent manipulátoru. Největší výhodou ovšem je, že když manipulátor při nadjezdu zvedne auto do určité výšky, bude schopen nadjet další zaparkované auta. Tudíž sice zabere více prostoru, ale ve výsledku je tato verze efektivnější, co se zabraného místa týče. V této práci se zaměřuji nejprve na první variantu manipulátoru - pomocí podjezdu. Dále se ale více rozepisuji ohledně verze druhé - pomocí nadjetí modelu auta.

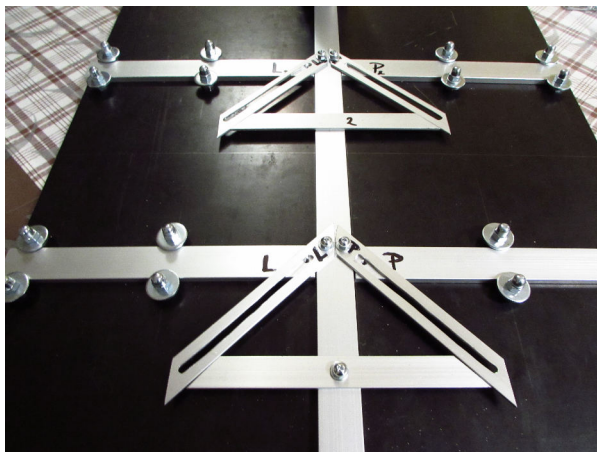


Obrázek 3: Model auta

2 První verze manipulátoru



Obrázek 4: Mechanický úchyt



Obrázek 5: Mechanický úchyt přiblížený

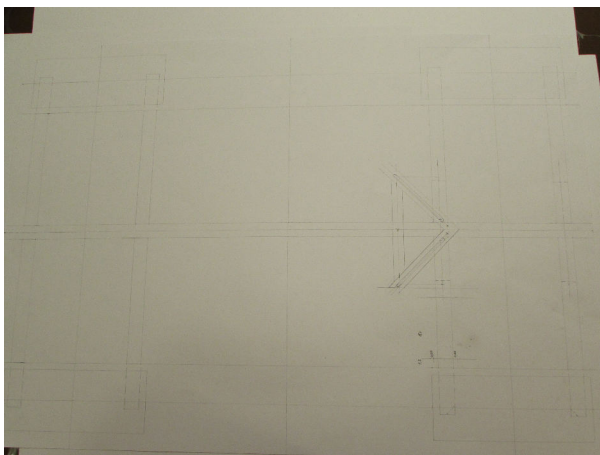
Tato kapitola se věnuje prvnímu návrhu manipulátoru. Je zde popsán čistě mechanický návrh a implementace úchytu modelu auta. Dále je zde popsáno testování, výsledek tohoto řešení a shrnutí.

2.1 Návrh

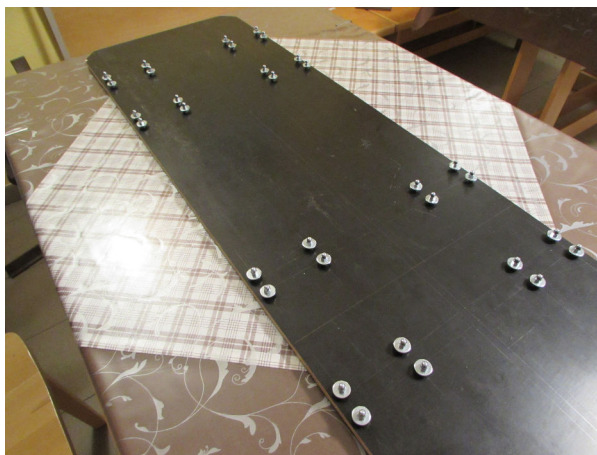
U této verze manipulátoru jsem se chtěl zaměřit především na jednoduchost, což si myslím, že se povedlo. Představa byla taková, že konstrukce najede pod model auta a pomocí jednoho lineárního pohybu vodící hliníkové tyče vysune celkem 8 podobných tyčí, které uchytí pneumatiky modelu. Tyto tyče jsou navíc jištěné pomocí šroubů, matek a podložek a tento mechanismus zároveň slouží jako zámek, aby se tyto tyče při zvedání od sebe nerozjely. Jelikož mám jen základní zkušenosti v programu AutoCAD, rozhodl jsem se jej nepoužívat a návrh načrtnout na čtvrtku formátu A1.

2.2 Implementace

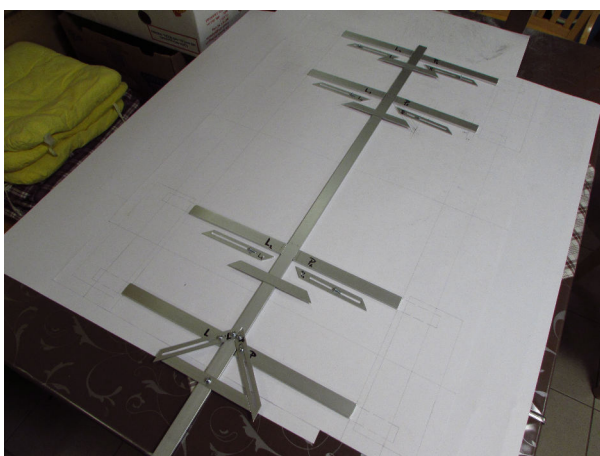
Nejprve byla potřeba konstrukce, na které bych celý návrh úchytu mohl namontovat. V úvahu připadaly i různé hliníkové profily, ale ty se v dané velikosti špatně shání, a tak jsem se rozhodl použít 1cm tlustou překližku z domácích zásob. Dále jsem pomocí mikrotužky překreslil návrh mechanismu na překližku. Následně jsem začal vyrábět jednotlivé komponenty úchytu a poté je postupně namontoval a upravoval podle potřeby. Postup návrhu a implementace je možno vidět na fotografiích níže.



Obrázek 6: První verze - návrh



Obrázek 7: První verze - překližka



Obrázek 8: První verze - výroba komponent



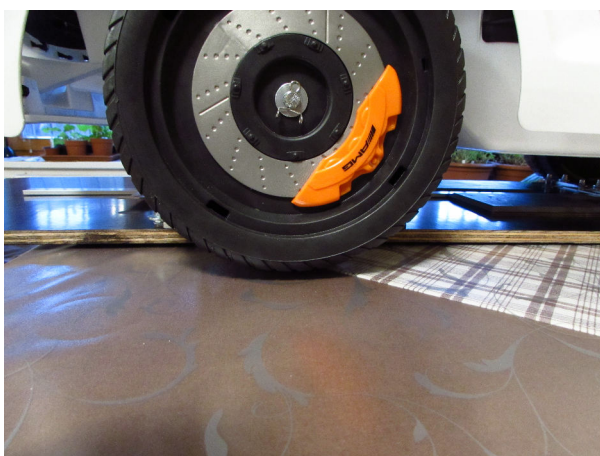
Obrázek 9: První verze - jištění



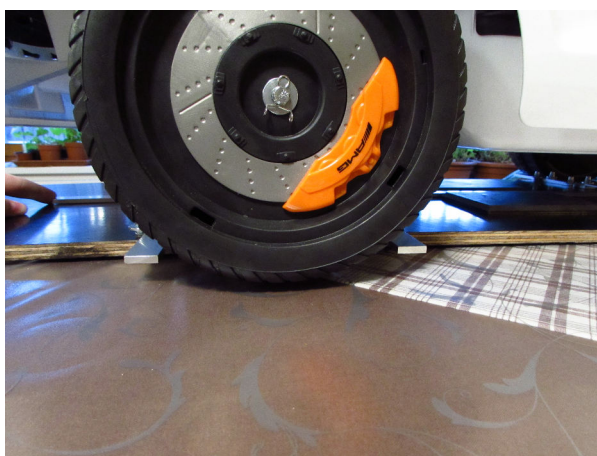
Obrázek 10: První verze - zasunutá tyč



Obrázek 11: První verze - vysunutá tyč



Obrázek 12: První verze - zasunuté tyče



Obrázek 13: První verze - vysunuté tyče

2.3 Testování

Po pokusech s tímto úchytem jsem se přesvědčil, že samotný mechanismus funguje perfektně. Konstrukce je pevná, nikde se neprohýbá, po promazání se nezasekává a především je jednoduchá. Bohužel by ale výsledný manipulátor musel najet k modelu auta velmi přesně a ve většině případů by ho mohl nechtěně posunout. Dále se zde vyskytl problém, jakým pohonem manipulátor zvednout a především kam ho upevnit. Jediné řešení, co mě napadlo, by bylo pomocí hydraulického pístu, avšak to je pro účely tohoto projektu moc složité a cenově náročné.

2.4 Shrnutí

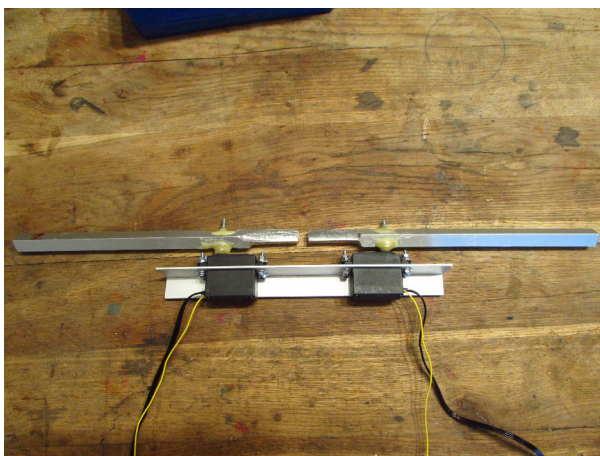
Po konzultaci s mým vedoucím jsme se dohodli, že toto řešení je sice elegantní a jednoduché, ale bylo by lepší, kdyby manipulátor nadjel nad model auta, jelikož zde bude mnohem více místa. A právě o této verzi pojednává zbytek dokumentu.

3 Druhá verze manipulátoru

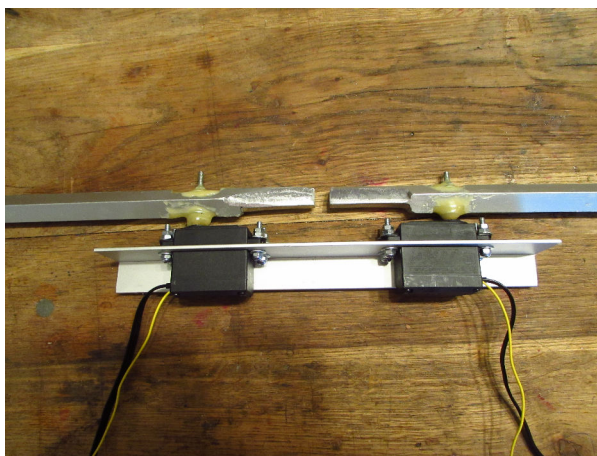
Po prvním návrhu a implementaci manipulátoru jsme se s mým vedoucím domluvili na nedostatecích a začali jsme konzultovat druhý návrh. Tato kapitola se věnuje druhému manipulátoru, který na rozdíl od první verze nebude podjíždět model auta, ale naopak ho nadjede. Po bocích konstrukce budou upevněny úchyty pro pneumatiky. Jeden takovýto úchyt se bude skládat ze 2 servo motorů, který přisunou hliníkové tyče k pneumatice. Na jedno kolo bude potřeba jeden úchyt, tudíž celkem 4 úchyty a 8 servo motorů. Dále zde popisuji návrh a výrobu zámků pro úchyty, samotnou zvedací konstrukci, výběr a popis pohonu pro zvednutí a nakonec napájení.

3.1 Úchyt pro pneumatiky

Manipulátor bude tedy muset přijet k modelu auta a před samotným zvednutím pootočit hliníkovými tyčemi, které uchytí model auta za pneumatiky. Právě toto pootočení jsem se rozhodl zrealizovat pomocí modelářských servo motorů, které jsou na českém trhu běžně dostupné.



Obrázek 14: Hotový úchyt pro pneumatiky



Obrázek 15: Hotový úchyt přiblížený

3.1.1 Servo motory

Servo je malá elektromechanická součástka, která pomocí řídicích impulsů vedoucích do motoru otáčí výstupní hřídel typicky o $\pm 90^\circ$, dohromady tedy o 180° . Na tuto hřídel lze upevnit prakticky cokoliv a vyvinout tak jakýkoliv mechanický pohyb. Servo se skládá z

elektromotoru, řídicí elektroniky, potenciometru, převodovky, výstupní hřídele, třížilového kabelu a to vše je vloženo a upevněno v kovové nebo plastové krabičce.

Typické použití najdeme v modelech letadel, kde slouží pro nastavování výchylky klappek. Dále se s ním můžeme setkat u železničních modelů při nastavování výhybek kolejnic nebo také při posunutí kormidla v modelech lodí.

Jak fungují Ze serva vede typicky třížilový kabel. Z toho dvě žíly slouží jako + a -. Zbývajících třetí žíla je pro řídicí signály. Pro řízení serva se používá PWM - pulzně šířková modulace v rozmezí 0,5-2,5 ms. Tomu odpovídá rozsah natočení o 180°. To znamená, že když servo zachytí 1 po dobu 0,5ms a 0 po zbývajících dobu 2ms, bude se snažit natočit o -90°. Na druhou stranu, když zachytí 1 po dobu 2,5ms a 0 za tento úsek nezachytí vůbec, natočí se o +90°. Když servo zachytí 0 po dobu 2,5ms znamená to, že se synchronizuje a čeká na další signál. Tyto pulzy se opakují přibližně 50x za sekundu. Existují i serva s větší pracovní frekvencí, která jsou vhodná například v modelech vrtulníků, kde musí být odezva velice rychlá.

V servech se nachází potenciometr, díky němuž se kontroluje aktuální pozice serva vůči požadované. Tudíž čím více se blížíme k požadované pozici, tím menší napětí bude na motoru a tím méně se bude výstupní hřídel otáčet. Až bude nakonec aktuální pozice stejná vůči té požadované, napětí na motoru bude nulové, a proto se výstupní hřídel přestane hýbat, dokud nedostane další signál ohledně změny polohy.

Elektronika serva Elektroniku máme v servu buď starší analogovou nebo lepší digitální. Je to z toho důvodu, že digitální serva jsou mnohem rychlejší a mají lepší reakci. Mají také větší sílu a nejsou teplotně závislé na rozdíl od analogových, která jsou teplotně závislá kvůli kondenzátorům, které s měnící se teplotou mění i svoji kapacitu. Kvůli tomuto může být řídicí signál zkreslen a servo není tak spolehlivé. Všechny tyto výhody digitálních serv jsou na úkor jediné nevýhody a tou je větší spotřeba energie.

Motor serva U serva rozlišujeme 3 druhy motorů. 2 Stejnoseměrné a jeden střídavý.

DC elektromotor Je typickou výbavou serv. Jsou běžně používány i v jiných zařízeních, tudíž se vyrábí po milionech kusech, a právě proto jsou velmi levné a jsou nejběžnějším typem motoru v servech. Pokud si pořídíte jakékoliv průměrné servo, s největší pravděpodobností bude obsahovat právě tento typ motoru. DC motor se vyrábí buď třípólový nebo pětipólový. Čím větší počet pólů motor obsahuje, tím má plynulejší chod a větší sílu. Bohužel s rostoucím počtem pólů je i náročnější na výrobu a také je dražší.

Coreless motor Patří také mezi stejnosměrné motory. Obsahuje silný magnet kolem kterého se otáčí cívka tvořená z měděného drátu. Tato cívka má mnohem menší hmotnost

než u klasického DC elektromotoru. Coreless motory jsou mnohem jednodušší, jelikož vinutí není na kotvě železných plechů, ale je na válečku. Je tedy mnohem spolehlivější, naopak nevýhodou je větší tepelné namáhání.

Střídavý motor Je motor budoucnosti, co se týče servo motorů. Opět je zde značné zjednodušení oproti motorům stejnosměrných, protože nemají žádné kartáče a kolektory, a tudíž nedochází k opotřebování těchto součástí. Jsou tedy zase o kus rychlejší, více spolehlivější a mají mnohonásobnou životnost, jelikož jsou odolné vůči nárazům a vibracím. Dokonce mají i shodnou spotřebu energie vůči stejnosměrným motorům. Nevýhoda těchto motorů je vysoká cena, která by s rostoucím zájmem měla jít prudce dolů.

Potenciometr Potenciometr je velmi stará součástka, pomocí které se kontroluje aktuální pootočení serva vůči požadované pozici. Ovšem na to, jak je to v servech důležitá komponenta, je velmi nespolehlivá, jelikož se často opotřebovává dráha jezdce potenciometru. Tudíž po čase se stává, že servo sebou začne méně či více škubat. Pokud tedy je se servem něco v nepořádku, nejčastěji se jedná o potenciometr a je potřeba ho vyměnit.

Převodovka Serva by fungovala i bez převodovky a dokonce by byly i mnohem rychlejší. Tato komponenta je tu z toho důvodu, že u serva potřebujeme také kroutící moment neboli sílu serva. Tu nám zajistí na úkor rychlosti právě převodovka v podobě ozubených kol. Tah serva se pohybuje od pár stovek gramů až do desítek kilogramů na centimetrovou páku. Čím větší je tato páka, tím větší síla je u serva potřeba. Například když servo zvedne 10kg/1cm tak na 10cm páku zvedne už jen 1kg. U levnějších serv se setkáme z plastovou převodovkou, nejčastěji vyrobenou z nylonu či karbonitu. U těch kvalitnějších se setkáme s kovovou. Používá se hliník, mosaz či ocel. U převodovek nejvyšší třídy se používá titan. Převodovka se skládá z několika ozubených kol. Poměr průměru kol vůči počtu zubů určuje finální rychlost a tah serva. Poslední ozubené kolo, které je součástí převodovky, je právě výstupní hřídel, na kterou se uchycuje páka. Tato hřídel je uložena buď v kluzkém pouzdru nebo v kuličkovém ložisku, které má mnohem plynulejší chod.

Krabička Všechny zmíněné komponenty jsou uloženy v krabičce, která je vyrobená nejčastěji opět z nylonu. U nejlevnějších serv se setkáme s průhlednou krabičkou, která je sice hezká a můžeme zde vidět chod serva při otáčení, ovšem je nejméně kvalitní. Naopak u dražších serv se setkáme s celokovovými krabičkami, nejčastěji vyrobených z hliníku, který zároveň slouží jako chladič serva. Krabička se typicky uchycuje čtyřmi šrouby, pro které jsou umístěny úchyty po dvou na užších bocích krabičky.

Rozměry a hmotnost Nejčastější rozdělení serv podle velikosti a hmotnosti je možno vidět v následující tabulce:

Typ serva	Velikost	Hmotnost
Mikro	13mm a méně	20g a méně
Mini	15mm	30g
Standart	20mm	50-80g
Maxi	20mm a více	100g a více

Tabulka 1: Rozdělení serv podle velikosti a hmotnosti

Napájení serva Nejběžněji se servo napájí pomocí 4,8V nebo 6V. Tomu odpovídá složení čtyř NiCd nebo pěti NiMH článků. Existují ještě serva označována jako HV - High Voltage, které pracují s napětím 7,2V. Je to z toho důvodu, aby jsme mohli použít 2 LiPo články a to bez regulátoru. Vyšší napětí je také vhodné pro větší rychlost, sílu a také servo neodebírá tak velký proud.

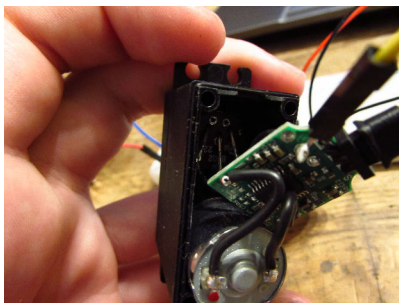
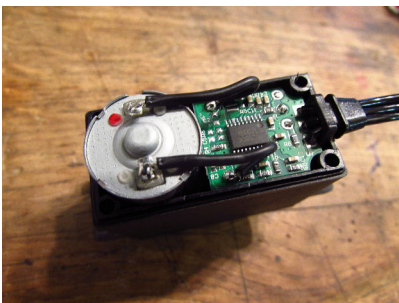
Výpočet tahu serva Nejprve bylo testováno, jestli by jeden samotný úchyt nezvedl jednu pneumatiku pomocí vztlaku, který by vytvářela dvě naproti sobě posouvající se serva. Takovéto řešení by bylo ideální, protože bychom nepotřebovali žádný zámek pro úchyt a ani žádný další pohon, který by celou konstrukci musel zvedat. Na takovýto vztlak by serva ale potřebovala značnou sílu. tu můžeme vypočítat pomocí základního vzorce:

$$T = F * r$$

Kde T je tah serva (Torque), F je síla kterou chceme zvedat (Force), a r je vzdálenost od osy otáčení serva. Modelu auta jsem ve výpočtu přidal trochu na váze a počítal jsem raději s tím, že váží 16kg a velikost páky jsem navrhoval 5cm. Jelikož model má 4 kola a jedno kola se bude uchycovat pomocí dvou serv, vychází na jedno servo váha 2kg. Po dosazení do vzorce $T = (2 * 10) * 5$. Neboli servo bude muset mít sílu 10kg/cm. Po ověření jsem zjistil, že se zde vyskytují i jiné mechanické síly a že ani 2 serva co mají tah 15kg/cm jednu pneumatiky nenadzvednou. Tudíž jsem došel k závěru, že průměrné modelářské servo zde nemá šanci. Serva s potřebnou silou sice existují, ale projekt by se prodražil o desetitisíce korun.

Finální výběr servo motorů Jelikož na rychlosti serva v tomto projektu téměř nezáleží, hledal jsem spíše serva střední třídy s větším tahem. Taky jsem kladl důraz na to, aby servo mělo kovovou převodovku. Od známého modelářského obchodu jsem vybral servo SRT DL3017 DC. Jedná se o digitální servo s DC motorem, kovovými převody a dvěma kuličkovými ložisky. Tah serva je udáván 17kg/cm při 6V. Rychlost serva 0,15s/60° při 6V. Provozní napětí 4,8-6 V. Při menším pracovním napětí má servo nepatrnou menší rychlost a tah snížený o 2kg. Rozměry serva jsou 40,7x20,5x39,5 mm. Hmotnost 65g. Jedno takovéto servo stojí 450Kč. Na projektu je jich potřeba osm.

Feedback servo motorů Jak již bylo psáno, serva mají dva napájecí kabely a jeden řídicí kabel. Jenže serva nemají kabel pro zpětnou vazbu - feedback. Tudíž sice můžeme servu říct, o kolik stupňů se má pootočit, jenže už nezjistíme, jestli se servo do požadované pozice dostalo nebo se někde zaseklo. K získání této zpětné informace jsem musel všechna serva rozebrat a na pin, který vede k jezdcí potenciometru, připájet kabel. Dále bylo zapotřebí trochu upilovat krabičku, jelikož výstup je dělaný pouze pro tři kabely. Tento analogový signál jsem vyvedl na analogový vstup Arduina a následně jsem zkalibroval napětí.



Obrázek 16: Vnitřek Serva

Obrázek 17: Feedback

Obrázek 18: Finální úprava

Kalibrace servo motorů Arduino analogové piny přijmou na vstup 0-5V. Toto napětí namapují na škálu 0-1023. Z toho tedy vyplývá, že Arduino má desetibitový analogový digitální převodník a rozlišuje tedy 2^{10} možných hodnot. Jelikož po vyvedení signálového pinu z jezdcí potenciometru jsem naměřil multimetrem 0.75V při posunu o 0° a 1.64V při posunu o 180° , vycházelo mi rozlišení 153-335. Po odečtení 182, tedy přesnost nepatrně nad 1° . Ovšem jsem si to musel ověřit i softwarově. Proto jsem napsal kód pro kalibraci servo motorů.

Nejprve jsem zkusil servo napájet přímo z Arduina, které bylo napájeno z notebooku. Jelikož se z PC ozýval při pokusu pohnout servo motorem beep signál, tak jsem usoudil, že mému notebooku a Arduinu se nelíbí odběr proudu. I když servo bylo zatím bez zátěže, i tak při začínajícím posunu se snažilo vzít si větší proudy. Tudíž jsem musel vzít provizorní olověný 12V akumulátor, kterým jsem živil servo motor.

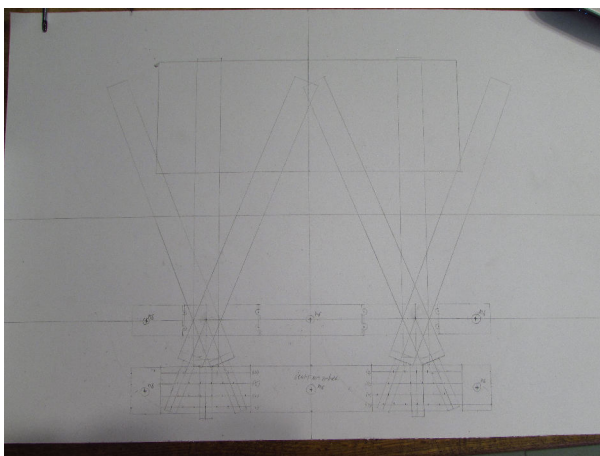
3.1.2 Montáž úchyty

Když byla serva připravena k použití, začal jsem navrhovat jejich připevnění do profilu spolu s namontováním hliníkových tyčí.

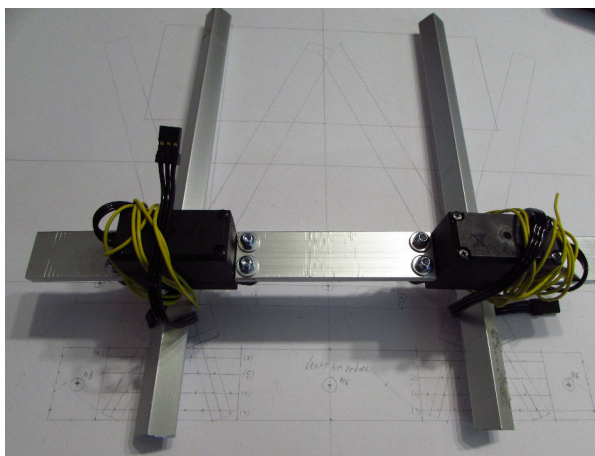
Montáž servo motorů do profilu Všechny tyto servo motory musí být k něčemu pevně přimontované. Jde především o pevnost, lehkost a také musí být materiál lehce opracova-

telný. Proto jsem navrhoval řešení ze snadno dostupných hliníkových profilů.

První návrh uchycení První návrh jsem zrealizoval z hliníkového profilu 20*5 mm. Toto řešení jsem zvolil především kvůli jednoduchosti. Bohužel tato realizace nebyla vůbec pevná a dost se prohýbala. Proto jsem musel celý úchyt předělat.

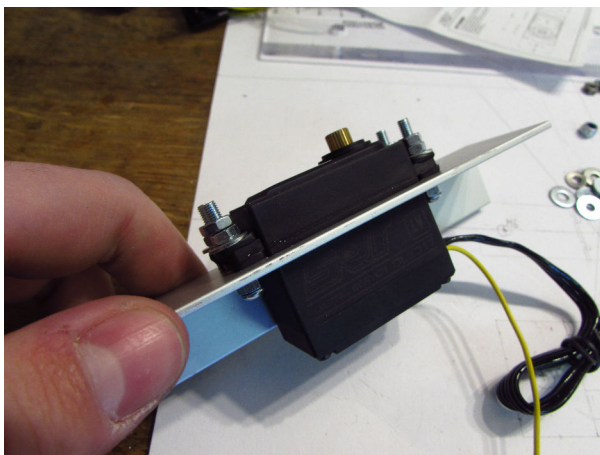


Obrázek 19: Dokumentace úchytu

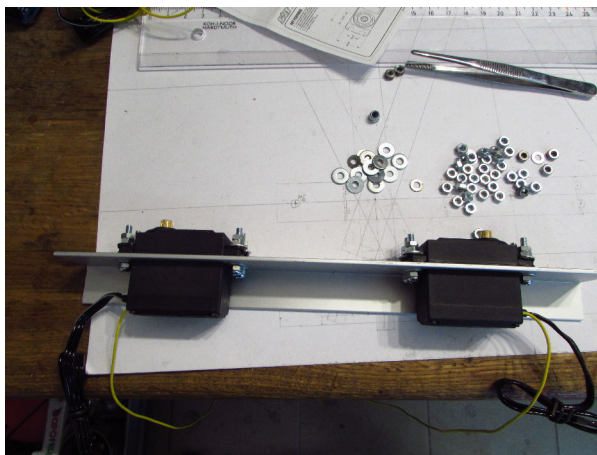


Obrázek 20: První návrh úchytu

Druhý návrh uchycení Jelikož jsem potřeboval konstrukci zpevnit, musel jsem použít nejen jiný profil, ale i jiný styl uchycení. Nakonec mě napadlo uchytit serva zanořením do jednoho kusu tenčího hliníkového profilu o rozměrech 30*20*2 mm, který zajistil, aby bylo uchycení pevné a vůbec se neprohýbalo. Díry do profilu jsem vyřezával lupénkovou pilkou. Nevýhoda oproti předchozímu řešení byla větší pracnost a důraz na přesnost při vyřezávání.



Obrázek 21: Druhá realizace úchytu



Obrázek 22: Druhá realizace úchytu

Montáž hliníkových tyčí k servo motorům Pro úchyt k pneumatikám jsem vybral hliníkové tyče 12*12 mm, které jsou od hřídele serva k začátku pneumatiky 18cm dlouhé a celkově mají 24cm. První co jsem zkusil, bylo přichytit tyč k servu nejjednodušším způsobem. Vyvrtal jsem díru do tyče a zkusil jsem upevnit tyč pomocí M3 závitovky, která vedla do hřídele serva a na vrchu tyče jsem utáhl matku. U toho uchycení jsem se setkal s detailním problémem, který zabral poměrně dlouhou dobu na vyřešení. Při volném průjezdu tyčí přimontovaných k servo motorům bylo řešení bez problému, ale když jsem zkusil dát do dráhy překážku, ať už v podobě pneumatiky nebo závaží, tak se hřídel serva strhávala od matky, která ji držela.

Montáž tyčí bez lepidla Ze začátku jsem se pokoušel vyřešit problém bez použití lepidla, protože nevýhoda lepidla spočívá v tom, že když chcete montáž poupravit, tak musíte lepidlo nějakým způsobem odstranit, což se v některých případech dělá velmi těžko. První montáž jsem zkoušel přichytit pomocí klasické matky, kde jsem narazil na daný problém. Druhý pokus jsem zkoušel pomocí dvou naproti sobě utažených matek, takzvaných kontra-matek. Toto řešení utáhlo více hliníkovou tyč k závitové tyči, ale problém s hřídelí nebyl vyřešen. Proto jsem tuto montáž musel přilepit.

Montáž s vteřinovým lepidlem Nejprve jsem zkusil klasické vteřinové lepidlo. Trochu jsem tušil, že ani tento způsob úchytu nebude řešení, jelikož vteřinák zasychá sice rychle, ale pevnost je minimální.

Montáž s gelovým lepidlem Při druhém pokusu jsem zkusil gelové lepidlo Pattex. Zde jsem si myslel, že by se hřídel už nemusela strhávat, ale i když jsem nechal lepidlo

zaschnout přibližně 17 hodin, tak po chvíli používání se matka opět strhla.

Montáž s epoxidovou pryskyřicí Kvůli řadě předešlých neúspěšných pokusů jsem musel přejít k záložnímu řešení. Zalil jsem matku s hřídelí a tyčí epoxidovou pryskyřicí. Epoxid je dvousložkové reaktivní lepidlo s dobou zasychání od pár minut do desítek hodin. Doba tuhnutí lepidla s rostoucí okolní teplotou klesá. Ovšem čím více necháte lepidlo schnout, tím lépe. Pevnost těchto lepidel se pohybuje od 100 až do 300 kg/cm², které se používají v průmyslu. Dvousložkové lepidlo jsem namíchal v poměru 1:1 a zalil jsem s ním nejprve matku s hřídelí. Po 15 hodinách tuhnutí je spoj tvrdý jako kámen. Nevýhoda této obrovské pevnosti je samozřejmě v tom, že když z nějakého důvodu bude potřeba spoj rozebrat, bude se muset odstranit i epoxid. Jediné dostupné řešení je pomocí horkovzdušné pistole, která epoxid roztaví.



Obrázek 23: Vteřinové lepidlo

Obrázek 24: Gelové lepidlo

Obrázek 25: Epoxid

3.2 Zámek pro úchyt

Když robot přijede a úspěšně uchytí model auta za pneumatiky, následně bude auto zvedat. Když by k úchytu nebyl přidělán žádný mechanismus, při pokusu zvednout auto by se hliníkové tyče od sebe rozjely. Proto jsem musel vymyslet řešení, které by "zamklo" úchyt tak, aby se nerozjel.

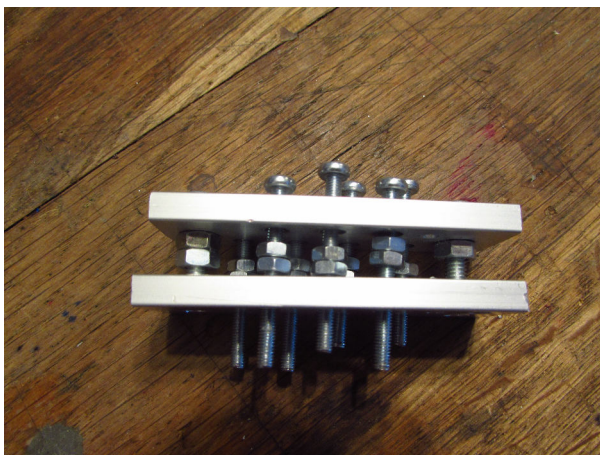
3.2.1 Návrh

Prvotní představa byla taková, že pomocí lícovaných šroubů zamknu při posuvu dolů celý úchyt. Když jsem si spočítal, že bych musel použít okolo 400 matic a 200 lícovaných šroubů, které se ve specifické délce velmi špatně shání, obzvláště když jsou v rozměru M3, řekl jsem si, že tohle řešení je zbytečně složité. Myšlenka se mi ale líbila, a tak jsem začal tento návrh zjednodušovat. Nakonec jsem přišel na řešení stejného principu, ovšem místo lícovaných šroubů jsem použil hřebíky. Protože na jeden hřebík bude působit značná síla, tak by byly

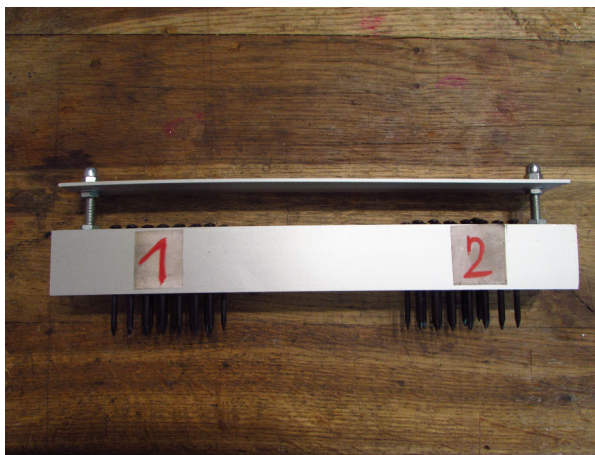
vhodné nějaké pevnostní, aby se po jednom použití nezkřivily. Tomu odpovídají ocelové hřebíky, které se typicky nastřelují do betonu, a tak musí být dost tvrdé, aby se nezkřivily.

3.2.2 Výroba

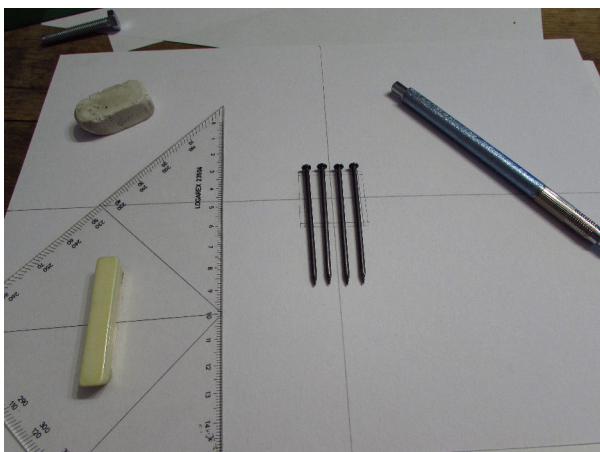
Nejprve jsem vrtal pomocí 2,7mm vrtáku, který byl sice dostačující pro hřebíky 2,5mm, ale občas se stalo, že se hřebík zaseknul. Tudíž jsem musel díry na prvním zámku převrtat na 3mm a začít je pilovat a začišťovat.



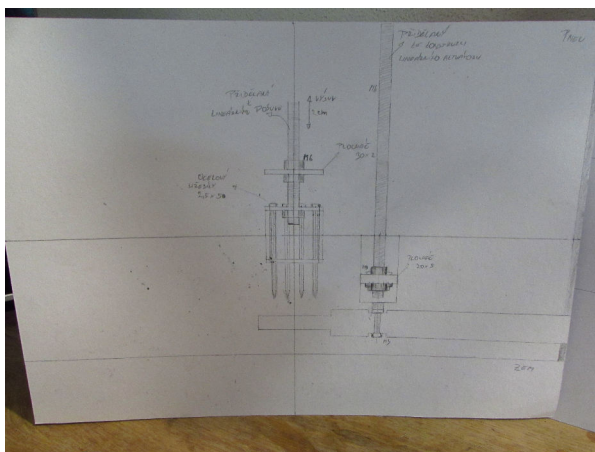
Obrázek 26: Prvotní myšlenka zámku



Obrázek 27: Finální návrh zámku



Obrázek 28: Návrh finálního zámku 1



Obrázek 29: Návrh finálního zámku 2

3.3 Zvedací konstrukce

Konstrukce vyrobena z Itemových tyčí 20*20mm, která bude celá zavěšená lineárním aktuátorem, který tuto konstrukci bude zvedat. Na této konstrukci budou připevněny výše zmíněné úchyty pro pneumatiky.

3.3.1 Návrh

Na tuto konstrukci jsou kladené velké požadavky především ohledně pevnosti, jelikož kdyby se konstrukce prohýbala, tak by v lepším případě musel lineární aktuátor vynaložit mnohem větší sílu na zvednutí a není jisté, jestli by model auta zvedl a nebo jestli by se samotný motor nezničil. Dále jsem kladl důraz na lehkost, která také souvisí s vynaloženou silou aktuátoru a opracovatelnost materiálu. Všechny tyto vyjmenované vlastnosti splňují Itemové tyče, které mají trochu neobvyklý tvar oproti klasickým profilům. Díky tomuto tvaru je zajištěna pevnost a lehkost tyčí, tudíž celkové konstrukce. Tyto tyče jsou navíc vyrobené z hliníku, který mi zajišťuje lehkou opracovatelnost. Konstrukce má na délku 1m a na šířku 75cm a je spojena pomocí úhelníků přes závitové tyče a kontramatky.

3.3.2 Vyskytnuté problémy

Bohužel se ukázalo, že tato relativně jednoduchá konstrukce nebude stačit, jelikož se celá prohýbá. Řešením je buď přidat další Itemové tyče, sloužící ke zpevnění spojů, a nebo vytvořit konstrukci pomocí větších Itemových tyčí, což by ale výrazně zvedlo hmotnost a cenu konstrukce. Dále se ukázalo, že pokud bude uprostřed zavěšen jeden motor, tak se bude celá konstrukce převažovat. Jedním z řešení je zvedat konstrukci pomocí čtyř takovýchto motorů, umístěných na okrajích zvedací konstrukce. Zde by se ovšem opět zkomplikovala práce, protože by se motory musely při zvedání softwarově synchronizovat a také by se projekt prodražil.

3.4 Pohon pro zvednutí modelu auta

Tato podkapitola se věnuje návrhu zvedání. Neboli co vše a jakým způsobem musí manipulátor zvednout. Manipulátor musí nejen zvednout model auta, který váží zhruba 13kg, ale také konstrukci, ke které jsou připevněny úchyty a zámky. Potřeboval jsem tedy lineární pohyb s dostatečně velkou silou. Zprvu jsem nevěděl, jak převést klasický točivý pohyb motoru na pohyb lineární. Jediné, co jsem znal, byly hydraulické písty, které mi přišly moc složité. Nakonec jsem dohledal, že existují i DC motory s převodovkou a říká se jim lineární aktuátory.

3.4.1 Hydraulické písty

Hydraulické písty mají typicky válcovitý tvar, do kterého je vložen píst. Na tento píst je vytvořen hydraulický tlak, který je převeden do formy lineárního pohybu. Kvůli téměř dokonalé nestlačitelnosti kapalin je hydraulický pohon velmi přesný. Tento pohon se může ovládat buď ručně nebo pomocí čerpadla. Hydraulika sice může zvednout mnohonásobně větší sílu než lineární aktuátor, ale zato je mnohem složitější, vyžaduje dost místa, je těžší a také je

cenově dražší. Vzhledem k tomu, že jsem hledal především jednoduchost, zvolil jsem pro zvedání lineární aktuátor.

3.4.2 Lineární aktuátory

Lineární aktuátor je motor s převodovkou, která podobně jako u servo motorů, zajišťuje větší sílu na úkor rychlosti. Ovšem je mnohonásobně silnější. Jak již název napovídá, díky připevněné závitové tyči s maticí, je točivý pohyb motoru převeden na pohyb lineární. Lineární aktuátory mají své uplatnění například při zvedání nemocničních lůžek a stolů, při otevírání oken nebo vrat, natočení solárních panelů a všude, kde je potřeba velká síla a nechceme použít hydrauliku. Lineární aktuátory mají typicky pracovní napětí 12-36 V, zdvih 2-50 cm, rychlost zdvihu 0,5-4 cm/s, sílu 100-10000 N, jmenovitý proud 1-30 A a zpětnou vazbu řešenou pomocí potenciometru nebo Hallových sond.

Výběr lineárního aktuátoru Pro zvedání jsem vybral aktuátor od firmy dcmotory.cz, který má převodový poměr 40:1, zdvih 10cm a pracuje při 12V. Aktuátor má sílu 1000N, což znamená, že bez páky dokáže zvednout až 100kg. Po telefonické dohodě s majitelem firmy, jsem usoudil, že bude lepší a jednodušší koupit aktuátor se zpětnou vazbou přes obyčejný potenciometr. Dále také existuje modernější varianta přes Hallové sondy, které jsou mnohem přesnější, neopotřebovávají se, ale jsou dražší a jejich hlavní nevýhoda je, že při každém zapojení aktuátoru musíte zkalibrovat startovní pozici a počítat posun od této pozice. Což je pro účel projektu zbytečně složité, a tak jsem zvolil variantu s potenciometrem, díky kterému ihned po zapojení víte, v jaké poloze se aktuátor nachází.

3.5 Napájení

Jelikož je zde značné množství motorů, které mají značnou spotřebu proudu, tak se tato podkapitola věnuje výběru vhodného napájení, které bude dodávat energii celému manipulátoru. Hlavní zdroj napájení musí být mobilní, a proto hned ze začátku odpadají všelijaké adaptéry a zdroje, co jsou připojeny do sítě. Odpadají také všechny primární články, jelikož jsem chtěl možnost opakovaného dobítí. Tudíž jsem se rozhodl mezi akumulátory. Zdroj musí být schopen snést náhlý a velký proudový odběr v řádu několika ampér. Zajímá mě se i o způsoby dobítí a celkovou váhu. Naopak jsem koukal jako poslední na rozměry a to především z důvodu, že manipulátor bude značně velký a neřešil jsem, jestli je výsledný zdroj o pár centimetrů delší nebo širší.

3.5.1 Druhy akumulátorů

Mezi nejpoužívanější druhy akumulátorů patří:

- Nikl-kadmiové - NiCd
- Nikl-metal-hydridové - NiMH
- Lithium-iontové - Li-ion
- Lithium-polymerové - Li-Po
- Olověné - Pb

Nikl-kadmiové - NiCd Jedny z prvních, které se používaly v elektronice, ať už v různých modelech aut nebo telefonech. Kvůli svému malému vnitřnímu odporu jsou tyto akumulátory schopny dodat poměrně vysoké proudy. Toť vše z jejich výhod. NiCd akumulátory jsou jedovaté a škodí životnímu prostředí. Dále mají paměťový efekt, takže před nabíjením se musí plně vybit, jinak přichází o svou kapacitu. Mají také poměrně velký efekt samovybití.

Nikl-metal-hydridové - NiMH Nástupce NiCd akumulátorů. Už neobsahují jedovaté kadmium. Mají větší hustotu energie, ale menší vybíjecí proud. Nevýhodou je, že mají větší samovybití, takže se nehodí do elektrospotřebičů, které potřebují menší, ale stálý odběr, kterými jsou například dálkové ovladače nebo rádio přijímače.

Lithium-iontové - Li-ion Oproti předchozím akumulátorům mají lepší kapacitu a jsou lehčí. Už nemají téměř žádné samovybití a netrpí paměťovým efektem. Na druhou stranu nemají tak velké vybíjecí proudy. Největší nevýhoda je, že jsou citlivé jak na přebíjení, tak na vybíjení.

Lithium-polymerové - Li-Po Nástupce Li-ion akumulátorů. Hlavní výhoda oproti svému předchůdci je, že z Li-Po akumulátoru můžete odebírat mnohem větší proudy. Typicky se maximální odběr pohybuje okolo 35C. To znamená, kdyby akumulátor měl kapacitu 1,5Ah, byl by schopný dodávat proud $35 * 1,5 = 52,5A$. Tyto proudy jsou ovšem maximální a trvalý odběr by měl být nižší a dohledatelný v dokumentaci. Nevýhodou je větší cena, která ale postupem času více klesá. Dále je potřeba zacházet se zdrojem velmi opatrně, neboť při nedodržení postupu nabíjení nebo při špatném zapojení, může tento akumulátor v nejhorším případě explodovat.

Olověné - Pb Nejstarší akumulátor z výše uvedených, avšak stále dost používaný především pro svou jednoduchost a nízkou cenu. Je schopný dodávat velké rázové proudy a má dlouhodobou životnost. Používá se například v automobilech nebo jako záložní zdroj - UPS. Bohužel tyto akumulátory jsou velmi těžké. Jejich váha se pohybuje typicky v řádu několika kilo.

3.5.2 Finální Výběr

Nakonec jsem se rozhodl pro dva druhy zdrojů. A to olověný a Li-Po. Olověný zdroj je vhodný používat pro testování manipulátoru, především z důvodu větší bezpečnosti. Kdybych již ve fázi testování používal Li-Po akumulátor, mohlo by se stát, že po zapojení do jakéhokoli obvodu, by nastal zkrat a akumulátor by v horším případě vybuchl. Jelikož olověný akumulátor je levný, spolehlivý, dokáže dodat velké proudy a při pokusech mi nezáleží na hmotnosti a rozměrech zdroje, nebyl důvod používat jiný než právě tento. Po řádném otestování manipulátoru ovšem navrhuji použít Li-Po akumulátor, jelikož i při větším odběru proudu si téměř uchovává svoji původní kapacitu. Olověné akumulátory tuto vlastnost nemají a při větším odběru proudu ztrácí svoji kapacitu. Takže po otestovaném použití manipulátoru bude mnohem výhodnější použít modernější Li-Po akumulátor.

4 Řídící elektronika

Pro ovládání veškeré elektroniky, co je a bude na projektu použita, jsem potřeboval vybrat hlavní řídící desku. Tato kapitola se věnuje analýzou existujících singleboardových desek. Popisuje jejich vlastnosti, výhody a nevýhody oproti ostatním deskám. Dále popisují finální výběr, komunikační protokoly a systémy, které na těchto deskách poběží.

4.1 Výběr řídící elektroniky

V této podkapitole popisují nejvhodnější produkty firem Raspberry Pi, Arduino a Beagle-Board.

4.1.1 Raspberry

Raspberry jsou plnohodnotné singleboardové počítače o velikosti kreditní karty a výkonem podobným slabším mobilním telefonům. Tyto počítače disponují procesory o frekvencích mezi 700-1500 Mhz a velikostí RAM mezi 256-4000 MB. Bez problému k nim můžete připojit monitor přes HDMI, myš a klávesnici přes USB, mají port pro ethernetový kabel, připojení přes WiFi a Bluetooth, programovatelné GPIO piny a v neposlední řadě 5V napájení přes microUSB a slot pro microSD kartu. Ke své funkci potřebují nějaký operační systém. Veškerá data a samotný OS je uložen na SD kartě. S takovýmto mini počítačem se můžete připojit k internetu a dělat s ním všelijaké věci jako s počítačem normální velikosti. Raspberry má za sebou značný vývoj těchto desek. V době, kdy jsem tento PC kupoval, byla nejlepší Raspberry Pi 3B+. Dneska již existuje i Raspberry Pi 4 B, který je zase o krok dál, ale je trochu dražší.

4.1.2 Arduino

Arduino není počítač, ale mikrokontrolér. Tudíž ke své funkci nepotřebuje žádný operační systém a je velmi jednoduchý. Můžete přes něj jednoduše ovládat LED diody, servo motory, display a tak dále. Ideální pro začátečníky, kteří zkouší jednoduché elektro projekty nebo se také hodí pro testování prototypů. Na druhou stranu není tak výkonný jako počítače Raspberry a BeagleBone a je zde značně omezená kapacita na velikost kódu. Porovnání nejznámějších desek Arduino Micro, Uno, Mega je k nahlédnutí v tabulce níže:

	Micro	Uno	Mega
Cena	455 Kč	455 Kč	850 Kč
Procesor	ATmega32U4 16Mhz	ATmega328P 16Mhz	ATmega2560 16Mhz
Flash Memory (kB)	32	32	256
EEPROM (kB)	1	1	4
SRAM	2,5	2	8
Digital I/O pins	20	14	54
PWM pins	7	6	15
Analog pins	12	6	16
Shields	No	Yes	Yes

Tabulka 2: Porovnání Arduino mikrokontrolérů

4.1.3 BeagleBone

BeagleBone jsou také singleboardové počítače a svou funkcí a rozměry se velmi podobají Raspberry. Většinou ale mají o trochu větší výkon a více programovatelných pinů. Na druhou stranu jsou tyto desky o trochu dražší a nejsou tak známé a oblíbené jako Raspberry, tudíž nemají tak rozsáhlou dokumentaci a komunitu na fórech. 4 Nejpoužívanější desky můžeme opět vidět v následující tabulce:

	BeagleBone Black	BeagleBone Blue	BeagleBone AI
Cena	1120 Kč	1800 Kč	2250 Kč
Procesor	AM3358ARM A8 1GHz	AM3358ARM A8 1GHz	AM57292x ARM A15 1,5GHz
Memory	512MB DDR3	512MB DDR3	1GB DDR3
USB	USB 2.0 480Mbps	USB 2.0 480Mbps	USB 3.0 5Gbps
Digital I/O pins	65 (3.3V)	24 (3.3V)	72 (3.3V)
Analog pins	7 (1.8V)	4 (1.8V)	7 (3.3V)
Other	12x PWM/Timers, 2x SPI, 2x I2C, 7x A/D converter	2x SPI, I2C, 4x A/D converter, 8x 6V servo motor, 4x DC motor	12x PWM/Timers, 2x SPI, 2x I2C, 7x A/D converter

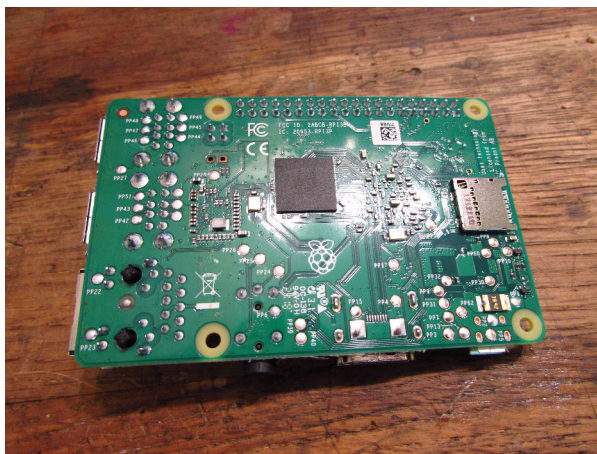
Tabulka 3: Porovnání BeagleBone počítačů

4.1.4 Finální výběr

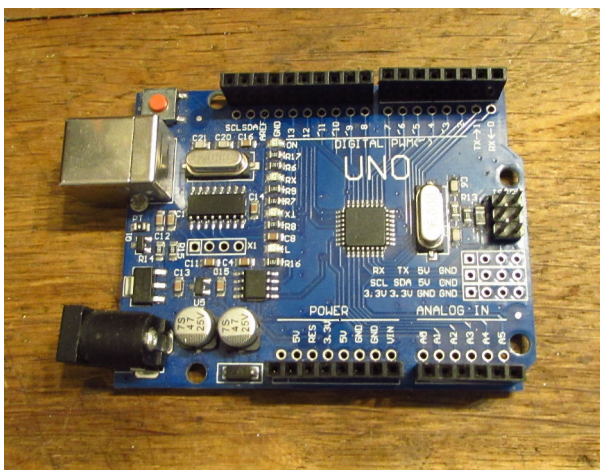
Na projekt jsem se rozhodl použít počítač Raspberry 3 B+ a mikrokontrolér Arduino Uno. Hledal jsem především jednoduchost a to obě desky splňují. Výkon Raspberry mi při testování bohatě postačil. Arduino sice také, ale do budoucna bych spíše tuto desku úplně odendal a pro ovládání servo motorů, lineárního aktuátoru atd. bych použil jednotlivé drivery, které by byly ovládané přímo z Raspberry.



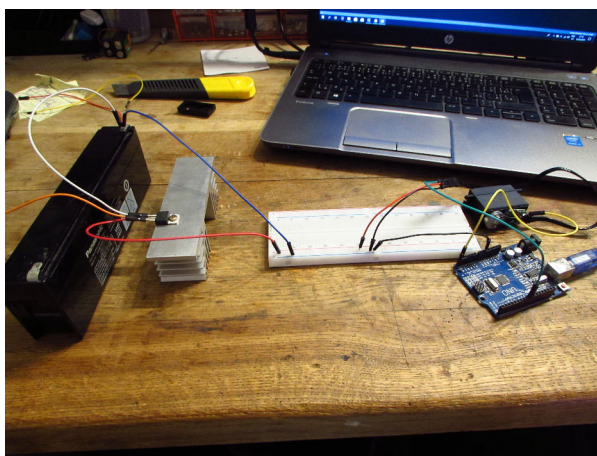
Obrázek 30: Raspberry 3 B+



Obrázek 31: Raspberry 3 B+ zezadu



Obrázek 32: Arduino Uno R3



Obrázek 33: Kalibrace serva

4.2 Komunikace mezi Raspberry a Arduinem

Oživení Raspberry Než jsem pomocí Raspberry mohl provést první testy, bylo zapotřebí nainstalovat přes microSD kartu operační systém Raspbian a zajistit správné napájení pro tuto řídicí desku.

Jelikož microSD karty s kapacitou 32GB a větší (označované SDXC), jsou formátovány exFAT souborovým systémem a s ohledem na to, že Raspberry bootloader má podporu pouze pro FAT16 a FAT32 souborové systémy, jsem vybral Kingston micro SDHC 16GB Class 10 za 200 Kč. Šel jsem na oficiální stránky www.raspberrypi.org, odkud jsem stáhl installer pro Raspbian, který jsem po stažení přesunul na paměťovou kartu.

První co jsem udělal po zapojení napájení do Raspberry, bylo změření 5V mezi testpointy PP2 a PP3, abych věděl, jestli můj provizorní adaptér, který jsem našel doma, nezničí můj nově koupený počítač. Na multimetru jsem naměřil 4.88V, což sice není ideální, ale podle dokumentace dostačující (minimum 4.75V). Při instalaci mi párkrát probliknul v horní části obrazovky žlutý blesk - indikátor, že není napájení v pořádku. Po nainstalování OS jsem musel stáhnout aktualizace. Instalace zabrala přibližně 3 hodiny.

Oživení Arduina U Arduina je příprava výrazně lehčí. Stačí si stáhnout IDE, zapojit desku přes USB do počítače, napsat kód a už stačí jen jedním stisknutím zkontrolovat a nahrát.

Komunikační protokoly Tyto dvě desky jsou spolu propojené pomocí USB kabelu, to znamená, že Raspberry napájí Arduino a zároveň si posílají data přes tento kabel. Ještě mezi nejznámější protokoly patří I2C, který se hodí spíše pro zapojení více senzorů najednou, jelikož sdílí adresní sběrnici, a dále SPI, který sice potřebuje více drátů, ale je rychlejší než I2C. Z důvodu, že sériovou komunikaci přes USB mám odzkoušenou a pro tento účel je plně dostačující, zvolil jsem právě tento způsob.

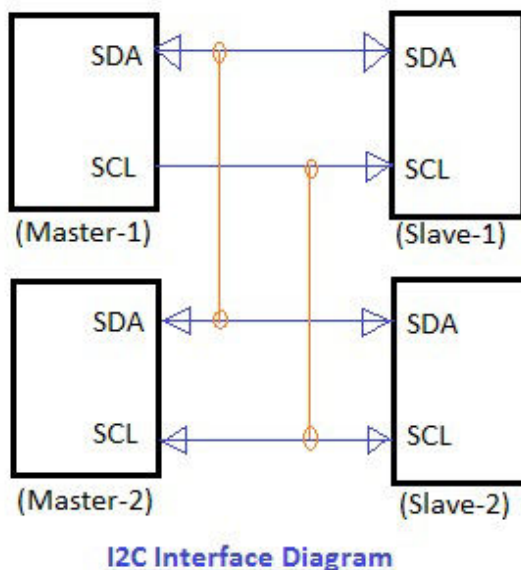
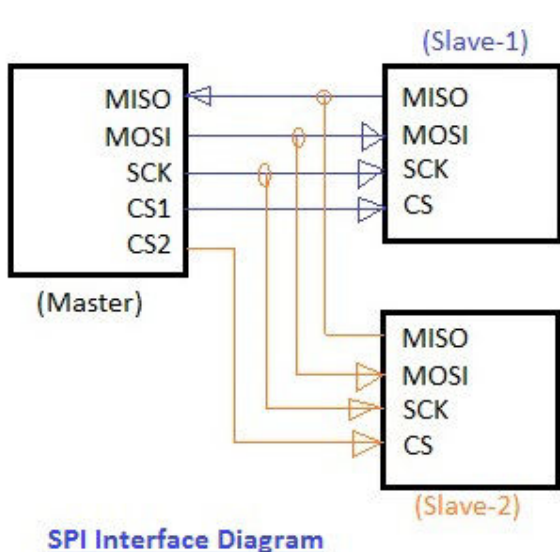
I2C Neboli Inter-Integrated Circuit se většinou používá pro komunikaci integrovaných obvodů. I2C podporuje zapojení více master a slave zařízení najednou. Tento protokol může dosahovat rychlosti od 100 Kb/s až do 3.4 Mb/s. Používá 2 dráty:

- SDA - Serial Data line Acceptance port - Pro posílání dat.
- SCL - Serial Clock Line - Pro synchronizaci komunikace.

SPI Neboli Serial Peripheral Interface. S tímto protokolem je možné použít více slave zařízení, ale je zde pouze jeden master. Používá se tam, kde je zapotřebí větší rychlost - čtení nebo zápis z SD karty, při zobrazování na display, různé senzory a tak dále. Používá 4 dráty:

- MOSI - Master Out Slave In - Přenáší data od master k slave zařízení.
- MISO - Master In Slave Out - Přenáší data od slave k master zařízení.
- SCLK - Serial Clock - Slouží pro synchronizaci signálu od master zařízení.
- SS - Slave Select - Slouží pro výběr jednoho slave zařízení z mnoha.

Rozdíl mezi SPI a I2C Rozdíl mezi SPI a I2C můžeme vidět v následujícím diagramu a tabulce:



Obrázek 34: SPI Diagram

Obrázek 35: I2C Diagram

	I2C	SPI
Jednoduchost	Velmi jednoduchý	S rostoucím počtem zařízení je složitý
Rychlost	Pomalejší	Rychlejší
Možnost více zařízení	až 127	Ano, ale čím více, tím je komunikace složitější
Počet drátů	2	4
Duplexita	Half Duplex	Full Duplex
Master a Slave	Více master a slave zařízení	Více slave zařízení, ale jen 1 master

Tabulka 4: Rozdíl mezi SPI a I2C

4.3 ROS - Robot Operating System

Robotický operační systém je opensource platforma pro softwarový vývoj, který se používá především v robotice. Klade důraz hlavně na různorodost finální robotické platformy, aby mezi sebou mohly komunikovat různé periferie. Také se soustředí na rychlé možnosti změn, kdy potřebujete jednoduše odpojit nebo naopak zapojit třeba nějaký senzor a to i při běhu programu.

Hlavní součástí ROS jsou nástroje a knihovny, pomocí kterých si vytvoříte driver pro robota. Tento driver pak může kdokoli vzít a jednoduše si ho upravit na svého robota, což docílí pomocí přidání a odebrání jednotlivých uzlů (node). Tyto uzly jsou základní procesy aplikací a mají být navrženy tak, aby vykonávaly jednu činnost (například ovládání serva) a udrželi si tak svou jednoduchost a odstup od ostatní části kódu. Když chce nějaký uzel poslat zprávu (message) druhému, stává se z něj publisher a tuto zprávu posílá pod pojmenováním a popsáním předmětem (topic). Uzel, který čte z předmětu se jmenuje subscriber. Jeden uzel může být zároveň jak publisher, tak subscriber. Když se v tomto systému vytváří nějaký projekt, je uložený v takzvaném balíku (package). V ROS je sada těchto balíčků běžně dostupná a tyto balíky obsahují běžnou funkcionalitu, která se v robotice používá. Projekt řídí jeden hlavní uzel, kterému se říká ROS Master.

Na Raspberry jsem nainstaloval image, který je založený na Ubuntu verze 16.04. a na kterém je předinstalovaný ROS. Má zde také nastaven WiFi access point, přes který se můžeme k Raspberry připojit pomocí protokolu SSH.

Arduino také může používat ROS systém a v testování měl tento mikrokontrolér funkci jednoho uzlu, který komunikoval s Raspberry. Na obrázku níže můžeme vidět základní komunikaci mezi Raspberry a Arduinem pomocí ROS, kde přes Raspberry je možné nastavit úhel natočení jednoho serva a Arduino po časové prodlevě vyhodnotí zpětnou vazbu servo motoru a pošle informaci Raspberry, jestli je feedback validní nebo ne.



Obrázek 36: Testování komunikace přes ROS

5 Testování

K testování se používala řídicí elektronika, Raspberry Pi 3 B+ a Arduino Uno. Na této elektronice byl při některých experimentech nasazen ROS a to i na Arduino, ke kterému existuje knihovna a funguje zde jako uzel. Testování komponent manipulátoru probíhalo experimentální formou. Nejprve byla daná komponenta navržena, dále implementována a otestována. Pokud neprošla těmito testy, musela být opravena. Tato kapitola se věnuje právě těmto testům a jejich výsledkům. Dále jsou zde také shrnuty opravy komponent nebo návrhy těchto oprav.

5.1 Testování úchytu pro pneumatiky

Nejprve bylo otestováno dohromady 8 servo motorů. Byly udělány zátěžové testy, jestli jednotlivá serva dokáží pohnout na páce 10cm závaží o váze 1kg. Těmito testy všechna serva prošla.

Dále probíhaly testy na strhávání matky u hřídele serva. Nejprve byla uchycena páka na hřídel pouze pomocí závitovky a matky. Při posuvu páky o 180° bez překážky se nic nestrhávalo. Problém nastal, když do dráhy posuvu bylo umístěno 1kg závaží nebo samotná pneumatika modelu. Matka se vždy od hřídele a páky strhla. Následně tedy probíhaly experimenty s lepidlem. Nejprve vteřinové lepidlo a následně gelové lepidlo. Ani jedno z uvedených problém nevyřešilo. Tudíž byla použita epoxidová pryskyřice. Toto řešení je dostačující, ale i tak se ukázalo být vhodné snížit rychlost otáčení serva a také servo co nejrychleji zastavit, kdykoliv narazí na pneumatiku nebo jinou překážku.

Na úchytu pro pneumatiky proběhly také čistě mechanické testy. A to především z hlediska pevnosti. První vyrobená verze tohoto úchytu neprošla, jelikož se i po upevnění na konstrukci dost prohýbala. Proto při druhé verzi byla serva zapuštěna do hliníkového profilu. Toto upevnění se ukázalo být mnohem pevnější.

5.2 Testování zámku pro úchyt

Po testování zámku bylo zjištěno, že nejde plynule nasadit na úchyt. Ovšem po odřezání hřebíkových hlav, které původně byly do špičky, se tento problém vyřešil. Dále se testovalo ohýbání těchto hřebíků, kde bylo zjištěno, že se alespoň při prvních pár pokusech neohýbají. Avšak se budou muset průběžně kontrolovat a popřípadě i měnit. Také funkce samotného zámku se otestovala. Z výsledků vyplývá, že zámek je pevný, neprohýbá se a po nasazení na úchyt se páky vedoucí od hřídele serva od sebe nerozjedou.

5.3 Testování zvedací konstrukce

Bohužel, zde se již po pár pokusech zjistilo, že se konstrukce bude muset buď výrazně poupravit nebo celá předělat. Je to z toho důvodu, že není dost pevná a prohýbá se. Návrhem na tuto opravu je buď přidat další upevňovací materiál nebo vyrobit celou konstrukci z většího I-temového profilu.

5.4 Testování lineárního aktuátoru

První test proběhl tak, že jsem připojil lineární aktuátor k napájení a pomocí ruky jsem mu kladl odpor. Neměl jsem žádnou šanci udržet výsuvný pohyb motoru, a proto jsem hned přešel na zvedání samotného modelu. Model auta jsem pevně zachytil pomocí ocelového lanka a pomocí sériové komunikace jsem dal příkaz, aby motor zkusil zvednout model auta. Zvednout model a dát ho zpět na podlahu jsem zkusil 10x. Při zvedání jsem multimetrem měřil odběr proudu motoru okolo 0,65A a při vrácení modelu zpět na podlahu okolo 0,5A. Proud při maximálním zatížení by měl být 3,2A, tudíž motor při zvedání modelu nejel ani na 1/4 svého maximálního výkonu a má zde značnou rezervu pro další hmotnostní zatížení manipulátoru.



Obrázek 37: Testování lineárního aktuátoru

6 Možnosti dalšího vývoje

Na manipulátoru bude muset ještě proběhnout značný vývoj. Hlavně co se týká mechanické konstrukce, která potřebuje především zpevnit. To by mohlo být docíleno například přidáním dalších upevňovacích Itemových profilů, bude se muset ovšem dát pozor, aby tyto profily nebránily modelu auta. Další variantou, jak zpevnit konstrukci, je vyrobit tu samou, avšak ze silnějších Itemových tyčí velikosti 8. Zde by byla zaručena pevnost, ale jediný motor už by tuto hmotnost nemusel uzvednout. Dále by se také značně zvedla cena a to přibližně o 25 tisíc.

Úchyt pro pneumatiky a zámek považuji za dokončené a tyto komponenty nejsou potřeba dál upravovat, a proto jejich poslední vyrobené verze jsou finální.

Lineární aktuátor je prozatím dostačující, ale s přibývajícím vahou celkové konstrukce, by mohl mít zátěžové problémy. Tudíž se do budoucna bude muset použít buď silnější nebo se jich bude muset použít více. Kdyby se použily 4 motory, vyřešilo by to zároveň problém s převážením. Nevýhodou takového řešení by byla opět větší cena a motory by se musely softwarově synchronizovat. Za zmínku už by také stálo použít hydrauliku.

Hlavní řídicí jednotka manipulátoru, Raspberry 3 B+, se mi osvědčila jako výkonná a spolehlivá deska. Myslím si, že má i rezervu, a tudíž by neměl být problém ji používat při dalších rozšíření manipulátoru. Kdežto jediný mikrokontrolér, Arduino, stačit nebude. S přibývajícím počtem různých motorů, co ještě budou na projektu použity, si myslím, že tento mikrokontrolér nebude výkonově stíhat a manipulátor bude mít v lepším případě o trochu horší odezvu. Dále je na verzi Uno malé množství PWM a digitálních i analogových pinů. Proto bych uvažoval buď o větším počtu mikrokontrolérů a každý z nich by měl na starost jednu skupinu motorů, což je trochu složitější řešení, a nebo bych použil namísto Arduina jednotlivé řídicí drivery, které by ovládaly jednotlivé motory a různé periferie manipulátoru. A právě tohle řešení považuji za lepší a jednodušší variantu.

Dále jsem zjišťoval možnosti vhodných kol a řízení. Například jsem narazil na takzvaná mecanum kola, pomocí kterých by byl manipulátor schopný se namísto otočit o 360°. Bohužel po konzultaci jsem zjistil, že tento druh kol je vhodný spíše na rovnoměrný povrch a při vjezdu do terénu jsou tyto kola velmi nepřesná a nespolehlivá.

7 Závěr

Cílem mé práce bylo navrhnout a implementovat řešení manipulátoru, který by uchytíl a zvedl model auta za jeho pneumatiky. Na základě analýzy jsem začal navrhovat a realizovat první verzi manipulátoru. Mechanismus uchycení u tohoto řešení byl elegantně jednoduchý a fungoval perfektně. Avšak manipulátor by musel najet velmi přesně a také se zde vyskytl problém s návrhem zvedání. Tudíž jsem od první verze manipulátoru upustil a začal se věnovat návrhu a implementaci druhé verze manipulátoru.

Návrh druhé verze spočíval v tom, že manipulátor nadjede nad model auta. Podařilo se mi také zrealizovat některé komponenty. Úchyt pro pneumatiky jsem vyrobil pomocí servo motorů, ze kterých jsem musel vyvést signál pro zpětnou vazbu a provést kalibraci. Úchyt byl při první výrobě nepevný, a tak jsem ho musel nechat zapustit do jiného profilu. Dále se mi podařilo zrealizovat zámek, který brání tomu, aby se tyče při zvedání nerozjely a také jsem vybral motor pro zvednutí celé konstrukce. Také jsem řešil možnosti řídicí elektroniky. Rozhodoval jsem se z více singleboardových počítačů a mikrokontrolérů. Nakonec jsem udělal finální výběr a na projektu byly použity dvě desky, tudíž musela být navrhuta komunikace mezi těmito deskami. Seznámil jsem se s ROS systémem a nasadil ho na řídicí elektroniku. Pomocí této elektroniky byly provedeny základní testy, které měli za úkol zjistit, jak moc jsou jednotlivé komponenty spolehlivé a jestli je možné tyto komponenty použít nebo jestli je bude potřeba poupravit.

V každé části projektu jsem se setkal s problémy, které mě nutily buď práci poupravit nebo ji rovnou celou předělat. I přes to mě práce bavila a projekt byl celkově velmi přínosný, především co se týče nasbírání nových zkušeností a to z oblastí softwaru, mechaniky a elektroniky.

Reference

- [1] T.Krajník, F.Majer, L.Halodová, T.Vint. *Navigation without localisation: reliable teach and repeat based on the convergence theorem*. 2018 IROS.
- [2] *Tutoriály systému ROS*.
<http://ros.org>.
- [3] Mudrova et al.: *Omnidirectional Mobile Robot for Large Object Handling* In International Conference on Research and Education in Robotics. 2011.
- [4] Krajník et al.: *A Mobile Robot for EUROBOT Mars Challenge*. In International Conference on Research and Education in Robotics. 2008.
- [5] *Přehled typů akumulátorů - Astramodel*
<https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html>
- [6] *Oficiální stránky firmy dcmotory*
<http://dcmotory.cz>
- [7] *Oficiální stránky výrobce BeagleBone*
<https://beagleboard.org>
- [8] *Oficiální stránky výrobce Raspberry*
<https://www.raspberrypi.org>
- [9] *Oficiální stránky výrobce Arduino*
<https://www.arduino.cc>
- [10] *Info o servo motorech*
<http://www.pojezdy.eu>
- [11] *Oficiální stránky Stanley Robotics*
<https://stanley-robotics.com>
- [12] *Informace o APS*
<https://industrytoday.com/article/the-benefits-of-automated-parking/>
- [13] *Info o SPI a I2C*
<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/UART-vs-SPI-vs-I2C.html>